昆 虫 学 报 *Acta Entomologica Sinica*，December 2002，45（6）：785 – 793　　ISSN 0454-6296

东灵山地区地表甲虫群落组成及季节变化

于晓东，罗天宏，周红章*
（中国科学院动物研究所，北京　100080）

摘要：本文研究东灵山地区地表甲虫群落的物种组成和季节变化，取样选择在11种不同生境类型内，分别代表该地区的植被类型与环境变化。1999～2000年的野外取样共获得甲虫标本10874号，其中步甲、隐翅虫、叶甲、象甲、拟步甲、金龟和叩甲等7科的个体数量较多，合计占个体总数的83.36%，为该地区地表甲虫的优势类群。选择40个最常见物种统计种类和数量，对生境进行主成分分析排序（PCA）和系统聚类分析，可以将东灵山地区的11种生境类型划归为3类：即梨园岭退耕区的灌丛类型、小龙门林区的森林类型和东灵山主峰区的亚高山植被类型，梨园岭退耕区的辽东栎萌生丛被合并到小龙门林区森林植被类型中，反映了植被类型、海拔高度及受干扰程度可能是决定该地区地表甲虫群落组成和分布的主要因素。研究地表甲虫的季节变化发现其活动高峰多出现在6月和7月，而且在不同生境类型内，优势类群的组成和季节变化有很大差异；小龙门林区内数量分布高于梨园岭退耕区内的分布，尤其在落叶松林和阔叶混交林内的数量优势更加明显。如果按营养层次划分功能群，捕食性类群比例最高，植食性类群次之，腐食性类群最少，捕食性类群的季节活动曲线滞后于植食性类群的活动曲线。

关键词：东灵山地区地表甲虫；物种组成；季节动态；生境；植被类型
中图分类号：Q968.2　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：0454-6296（2002）06-0785-09

Composition and seasonal dynamics of litter-layer beetle community in the Dongling Mountain region，North China

YU Xiao-Dong，LUO Tian-Hong，ZHOU Hong-Zhang*（Institute of Zoology，Chinese Academy of Sciences，Beijing 100080，China）

Abstract: Composition and seasonal dynamics of litter-layer beetle community were investigated in the Dongling Mountain region（39°48′～40°02′N，115°24′～115°36′E），114 km to the west of Beijing，North China. Three areas containing 11 plots were selected to reflect the effects of vegetation，elevation and human disturbance on the beetle community. The first was Xiaolongmen，a lower-mountain area covered with well-protected woods，where 5 plots were surveyed，i.e. *Pinus tabulaeformis* plantation，*Juglans mandshurica* forest，*Larix principis-rupprechtii* plantation，mixed deciduous broad-leaved forest and *Quercus liaotungensis* forest. The second was Liyuanling，an area of farmland abandoned 5 years ago and interspersed with some hills，where 3 plots were surveyed，i.e. *Vitex negundo* var. *heterophylla* shrubs，*Prunus armeniaca* var. *ansu* shrubs and *Q. liaotungensis* coppices. The third was an area of high elevation vegetation near the top of Dongling Mountain，where 3 plots were surveyed，i.e. *Betula costata* forest，*Caragana jubata* shrubs and meadows. The pitfall trap method was employed in this study. Field collections were made regularly，once each month during the growing seasons of 1999 and 2000. Of the beetles collected，the Carabidae，Staphylinidae，Chrysomelidae，Curculionidae，Tenebrionidae，Scarabaeidae and Elateridae were the dominant groups accounting for 83.36% of the total. Principal component analysis（PCA）and cluster analysis based on 40 dominant species collected in 1999 gave similar results：the 11 plots could be roughly categorized into three groups，i.e. the shrubs in Liyuanling，forests and coppices in Xiaolongmen and Liyuanling，and alpine vegetation near the top of Dongling Mountain. This indicates that vegetation，elevation，and human disturbance may be important factors influencing the distribution of litter-layer beetles in the Dongling Mountain region. The activity of adult beetles peaked in June and July in Xiaolongmen and Liyuanling，with variation in

基金项目：国家重点基础研究发展规划项目（G2000046801）；国家自然科学基金资助项目（39893360；39970090）；中国科学院知识创新工程领域前沿项目

作者简介：于晓东，男，1973年生，辽宁省东沟人，硕士，助理研究员，主要从事昆虫学、动物生态学和生物多样性研究
* 通讯作者 Author for correspondence，E-mail：zhouhz@panda.ioz.ac.cn

收稿日期 Received：2002-02-01；接受日期 Accepted：2002-09-25

the dominant group between different plots. Daily catches of beetles were higher in the Xiaolongmen area, especially in *Larix principis-rupprechtii* plantation and mixed broad-leaved forest. The Carabidae and Staphylinidae were abundant groups in forest plots in Xiaolongmen and *Q. liaotungensis* coppices in Liyuanling, peaking in July. The Tenebrionidae abounded in June and occurred mainly in shrubs and coppices in Liyuanling, and in *Juglans mandshurica* forest and *Pinus tabulaeformis* plantation in Xiaolongmen. The Elateridae showed similar seasonal changes as the Tenebrionidae, but more individuals were captured in *Larix principis-rupprechtii* plantation than in *Pinus tabulaeformis* plantation. The Chrysomelidae reached peak abundance in June or August in *Q. liaotungensis* forest and coppices, and in April or May in other forest plots in Xiaolongmen. Most of the Curculionidae appeared in May and August in *Vitex negundo* var. *heterophylla* shrubs, from May to July in *Pinus tabulaeformis* plantation, in June and July in *Larix principis-rupprechtii* plantation, and *Q. liaotungensis* forest and coppices. The Scarabaeidae were abundant in July in *Vitex negundo* var. heterophylla shrubs, *Larix principis-rupprechtii* plantation and *Pinus tabulaeformis* plantation, but in June in *Prunus armeniaca* var. *ansu* shrubs. Among the litter-layer beetles examined, the activity of predatory species lagged behind that of phytophages by about one month.

Key words: litter-layer beetles; species composition; seasonal dynamics; habitat; vegetation type

物种多样性时空格局是生物多样性研究的重要内容，其研究核心是物种的数量变化和物种的生物多样性程度，在不同尺度范围内探讨物种多样性时空格局及其变化规律（周红章等，2000a）。昆虫作为世界上种类和数量最多的生物类群，在生物多样性保护中具有重要的地位（Samways，1993），然而在全球范围内，相对于大型动物和植物，昆虫的物种多样性研究没有得到足够的重视（Ponder，1992）。这主要由于昆虫个体小、数量多、分布广、富有变化，限制了人们对其种类的认识和数目的精确估计，目前在世界范围内，已经发现的昆虫种类最多只有预计的十分之一，而在我国，这个比率更低，某些物种数目很大的类群几乎没有进行过系统研究（Erwin，1982，1991；May，1986，1988；Wu，1993；周红章，2000）。

我国地域辽阔，环境复杂，在全球范围内有十分特殊的地位，认识我国物种多样性的时空变化格局既富有挑战又非常重要，尤其是对土壤动物（昆虫为其重要成分）知之甚少。相对来说，亚热带地区由于其独特的自然生物地理特征，动物物种丰富，引起更为广泛的关注，研究基础较好，已开展过部分土壤动物研究（尹文英，1992，1998），但暖温带地区类似的研究较少。从全国范围看，虽然进行过一系列大型科学考察，但研究重点放在区系调查与分类上；土壤动物的采集更缺乏统一方法，难以进行量化比较，这些都制约了土壤动物多样性格局研究的发展。土壤动物的范围较广，很难通过一个或几个野外实验和取样完成全面的系统性研究，基于已有的基础和拟解决的问题，本文的侧重点放在地表甲虫的物种多样性变化。

东灵山地区属太行山小五台山余脉，属暖温带大陆性季风气候，是华北山地的典型代表，既有暖温带代表性森林，也有特殊的亚高山植被，还有部分荒山半荒山农田退耕区。东灵山地区目前进行生态恢复工程，研究该地区内地表甲虫群落不仅能帮助我们掌握该地区的物种基本组成和季节动态，而且还能以物种多样性程度为指标，量化生态恢复和森林管理措施的各项影响。我们于 1993 年开始在东灵山地区开展工作，利用统一的采集方法进行昆虫调查，已经发现步甲科大步甲属 1 新种和阎甲科 1 中国新记录（Imura and Zhou，1998；Zhou and Luo，2001），并针对这两个分类基础较好的类群进行过部分物种多样性研究（于晓东等，2002；罗天宏等，2002）。但如果研究能包容更多地表甲虫类群，对理解该地区地表甲虫的群落结构和季节动态可能会有更大的帮助，其结果也更有说服力。由于标本数量较大，标本制作和分类鉴定工作进度较慢，目前，刚刚完成大部分标本的初步鉴定工作，使我们对该地区整个地表甲虫群落进行全面地系统分析成为可能。

基于以上原因，本文主要研究地表甲虫的物种组成，以群落排序和聚类的方法分析生境类型对甲虫群落的影响，初步探讨生境类型和功能群与地表甲虫的季节性变化间的关系。

1 研究样地和方法

1.1 研究地点

东灵山地区（39°48′~40°02′N，115°24′~115°36′E），位于北京西郊门头沟区的西部，主要包括东灵山主峰区、小龙门林区和部分荒山半荒山农田退耕区，生境类型变化丰富。本研究选取三个研究地点，其中东灵山主峰区，海拔约2 000~2 300 m，代表了华北地区的典型亚高山植被类型，包括硕桦林、鬼见愁灌丛和亚高山草甸三种生境；小龙门林区，海拔约1 100~1 600 m，是典型森林植被类型，包括油松林、核桃楸林、华北落叶松林、辽东栎林和落叶阔叶混交林五种生境；梨园岭（农田）退耕区，海拔约1 000~1 100 m，代表了退耕区的主要植被类型，包括荆条灌丛、山杏灌丛和辽东栎萌生丛三种生境（具体样地位置见表1）。在这11种生境内设定样地，每块样地面积约为2 ha。

1.2 取样方法和标本鉴定

标本采集以巴氏罐诱法（Martin，1978；Baars，1979）为主，针对以地表活动为主的甲虫物种种群活动密度进行相对取样，在长期监测和多地点对比中，研究地表甲虫的丰富度、季节性活动规律、栖息地选择、种群动态及种群数量估计。本研究具体的调查和采集方法同罗天宏等（2002）。

根据以往的气象和采集记录，东灵山地区11月~3月为冬季，地表覆盖层呈冰冻状态，不利于地表甲虫的活动，而且东灵山主峰区海拔更高，冻土期延长，因此我们对主峰区的调查在每年6~8月间进行，其他地区主要于每年4~10月间进行。在1999年和2000年，我们对主峰区的调查分别进行了3次和1次，在小龙门林区和梨园岭退耕区的调查分别进行了7次和3次。

表1 东灵山地区样地分布

Table 1 Description of sample plots in the Dongling Mountain region

地点 Sites	样地编号 Plot Code	植被类型 Vegetation types	经度 Longitude	纬度 Latitude	海拔 Elevation
梨园岭退耕区 Liyuanling area	L1	荆条灌丛 *Vitex negundo* var. *heterophylla* shrubs	115°32′E	39°59′N	1 100 m
	L2	山杏灌丛 *Prunus armeniaca* var. *ansu* shrubs	115°31′ E	39°59′ N	1 070 m
	L3	辽东栎萌生丛 *Quercus liaotungensis* coppices	115°31′ E	39°59′ N	1 050 m
小龙门林区 Xiaolongmen area	X1	油松林 *Pinus tabulaeformis* plantation	115°26′ E	39°58′ N	1 190 m
	X2	核桃楸林 *Juglans mandshurica* forest	115°25′ E	39°58′ N	1 160 m
	X3	华北落叶松林 *Larix principis-rupprechtii* plantation	115°26′ E	39°58′ N	1 140 m
	X4	阔叶混交林 Mixed deciduous broad-leaved forest	115°25′ E	39°58′ N	1 225 m
	X5	辽东栎林 *Quercus liaotungensis* forest	115°25′ E	39°58′ N	1 250 m
东灵山主峰 Peak of Dongling Mountain	D1	硕桦林 *Betula costata* forest	115°28′ E	40°02′ N	2 070 m
	D2	鬼见愁灌丛 *Caragana jubata* shrubs	115°28′ E	40°02′ N	2 070 m
	D3	亚高山草甸 Meadows	115°28′ E	40°02′ N	2 100 m

由于东灵山主峰区的采样时间短以及部分样地受到人为破坏，不能进行系统比较，为准确反映物种数量分布的季节性变化趋势，在进行地表甲虫季节性分析时，只考虑小龙门林区和梨园岭退耕区的数据。功能群的季节性分析以小龙门林区和梨园岭退耕区1999年的数据为主，本研究主要按成虫的食性将地表甲虫分为捕食性、植食性和腐食性三类。对某些兼食性的种类，按该科的食性比和在该地区的分布特点进行权重，分别归到各功能群中。捕食类主要包括步甲、阎甲、瓢虫和花萤等；植食类包括叶甲、天牛、伪叶甲、朽木甲、吉丁甲、象甲、叩甲、小蠹、红萤和花蚤等；腐食类包括埋葬甲和蚁甲；兼食类包括隐翅虫、拟步甲、金龟和芫菁等（Kato *et al*.，1995）。

标本鉴定主要由研究各类群的专家帮助完成，没有找到专家的类群主要依据专著（Bruce *et al*., 1954; Freude *et al*., 1964），必要时对照中国科学院动物研究所标本馆馆藏定名标本。

1.3 数据分析处理

采用主成分分析（Principal component analysis, PCA）对生境进行排序（Pielou, 1984）。本文的原始数据以 1999 年 40 个数量最多的物种的种类和数量为行（占当年捕获量总数的 62%），以 11 个生境类型为列，构成原始矩阵，并对原始数据进行标准化处理后，进一步分析得到主分量并制图。

利用系统聚类分析对主成分分析的结果进一步检验（Pielou, 1984）。系统聚类分析主要根据生境内物种组成的相异程度和相似程度，对生境进行归类，建立树状图。本文主要采用最远邻法（Furthest neighbor），以 1999 年 40 个数量最多的物种的种类和数量为原始数据，将数据进行标准化处理后，以欧氏距离平方（Squared Euclidean distance）为测度指数对生境进行归类。

本研究的数据分析使用数理统计软件 SPSS（1997）完成。

2 结果

2.1 物种组成

共获得甲虫标本 10874 号，主要分属于 20 科。其中步甲、隐翅虫、叶甲、象甲、拟步甲、金龟和叩甲等 7 科的个体数量较多，每科均占 3% 以上（每月平均捕获量达到 30 号以上），合计占个体总数的 83.36%，为该地区的优势类群。阎甲、小蠹、蚁甲和埋葬甲 4 科的个体数量在 1～3%之间，瓢虫、花蚤、花萤、天牛、伪叶甲、芫菁、朽木甲、红萤和吉丁甲等 9 科个体数量少于 1%，这 13 科为该地区比较不常见的类群。此外，尚有 6.97%的标本未能鉴定，需要将来进一步研究（表 2）。

表 2 北京东灵山地区地表甲虫的数量分布*

Table 2 Abundance of litter-layer beetles collected with pitfall traps in the Dongling Mountain region*

	梨园岭退耕区 Liyuanling area			小龙门林区 Xiaolongmen area			东灵山主峰 Peak of Mt. Dongling					个体数 Number of individuals	百分比 Percentage (%)
	L1	L2	L3	X1	X2	X3	X4	X5	D1	D2	D3		
步甲科 Carabidae	58	147	611	239	528	1 311	613	707	365	81	156	4 816	44.29
隐翅虫科 Staphylinidae	14	149	130	52	157	181	358	126	48	15	46	1 276	11.73
叶甲科 Chrysomelidae	90	191	44	43	92	68	212	59	7	4	155	965	8.87
象甲科 Curculionidae	29	15	90	75	100	198	105	272	23	7	41	955	8.78
拟步甲科 Tenebrionidae	20	29	34	86	191	12	0	17	0	0	0	389	3.58
金龟科 Scarabaeidae	74	107	14	22	25	42	26	15	1	3	8	337	3.10
叩甲科 Elateridae	30	98	39	2	74	40	23	18	0	1	2	327	3.01
阎甲科 Histeridae	2	1	0	0	1	2	228	0	0	0	0	234	2.15
小蠹科 Scolytidae	1	0	1	24	49	54	24	34	2	10	8	207	1.90
蚁甲科 Pselaphidae	0	3	2	0	135	4	44	10	0	0	0	198	1.82
埋葬甲科 Silphidae	0	3	0	1	1	18	6	1	46	35	58	169	1.55
瓢甲科 Coccinellidae	2	7	4	2	3	1	0	1	0	3	47	70	0.64
花蚤科 Mordellidae	18	20	5	4	4	4	0	2	0	1	0	58	0.53
花萤科 Cantharidae	5	4	4	1	10	11	1	2	5	4	3	50	0.46
天牛科 Cerambycidae	1	0	0	4	4	2	2	4	1	1	1	20	0.18
伪叶甲科 Lagriidae	9	1	3	0	1	2	1	1	0	0	0	18	0.17
芫菁科 Meloidae	0	7	0	0	4	0	0	0	0	0	2	13	0.12
朽木甲科 Alleculidae	1	0	2	0	4	0	0	0	0	0	0	7	0.06
红萤科 Lycidae	0	0	0	0	3	1	1	0	0	0	0	5	0.05
吉丁甲科 Buprestidae	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0.02
其他甲虫 Other beetles	51	134	63	54	94	54	114	140	32	4	18	758	6.97
合计 Total	407	916	1 046	609	1 480	2 005	1 758	1 409	530	169	545	10 874	100.00

* 东灵山主峰部分取样受到破坏，表中数据仅作参考 The pitfall traps at the peak of Dongling Mountain were partly destroyed, so the data from this region is only partly comparable with that from the other sites.

2.2 生境相似性分析

2.2.1 以地表甲虫群落为属性的生境类型排序

利用主成分分析对11个生境类型排序（图1），对应于三个地区，可以分成三类：梨园岭退耕区的灌丛类型、小龙门林区的森林类型和东灵山主峰区的亚高山植被类型。但小龙门林区内的阔叶混交林生境更接近于东灵山主峰区类型，而梨园岭退耕区内的辽东栎萌生丛生境更接近于小龙门林区类型。以上结果反映出植被类型、海拔高度以及人类活动的干扰程度是生境排序的决定因素。

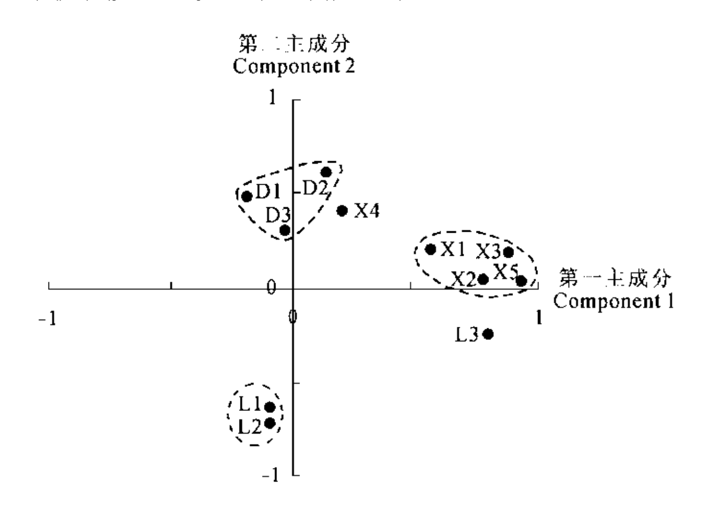


图1　以地表甲虫群落为属性的生境类型的主成分分析（PCA）

Fig. 1　Principal component analysis (PCA) of litter-layer beetle species captured in 11 habitats

图中代码见表1，后同 The same plot codes as those in table 1 are used in this and following figures and tables

2.2.2 以地表甲虫群落为属性的生境聚类分析

利用系统聚类对主成分排序的结果进行检验，发现聚类结果与排序结果相似，在度量值为18时，可以将11种生境类型分为三类（图2）：小龙门森林植被类型、梨园岭退耕区的灌丛植被类型和东灵山主峰的亚高山植被类型。辽东栎萌生丛在聚类过程中，更接近小龙门林区的森林植被类型，为退耕还林后刚开始恢复的植被类型。

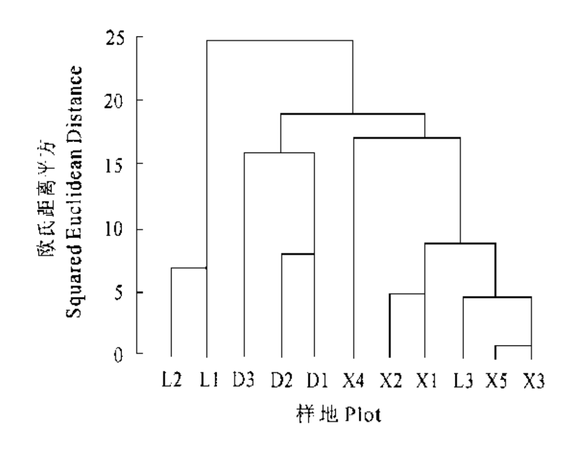


图2　以地表甲虫为属性的东灵山地区11种生境相似性的聚类分析

Fig. 2　Cluster analysis of 11 habitats for litter-layer beetle species in the Dongling Mountain region

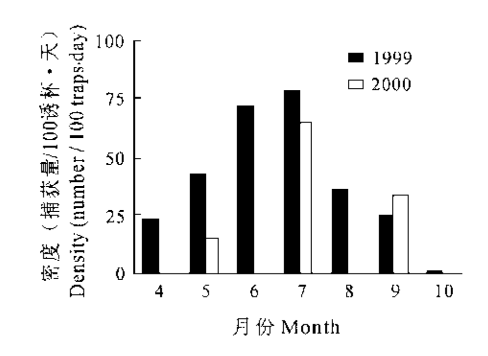


图3　地表甲虫在小龙门林区和梨园岭退耕区内数量的季节性变化

Fig. 3　Seasonal dynamics of litter-layer beetle density in Xiaolongmen and Liyuanling areas

2.3 地表甲虫活动密度的季节变化

2.3.1 季节与生境的影响

在地表活动的甲虫数量呈明显的季节变化。在1999年的7次调查中，活动甲虫的数量高峰在7月，6月次之，再次为5月、8月、9月和4月，10月份采到的甲虫数量最少。2000年虽然只进行3次调查，但同样呈现这一趋势，7月份活动的甲虫数大于5月和9月，只是9月份的密度高于5月，与上一年略有不同（图3）。

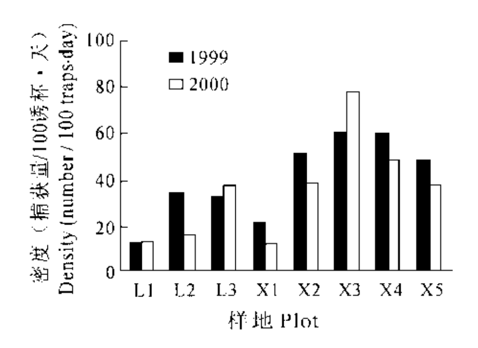


图4　地表甲虫在小龙门林区和梨园岭退耕区各生境内的数量分布

Fig. 4　Densities of litter-layer beetles in different habitats in Xiaolongmen and Liyuanling areas

地表甲虫在不同生境类型间的分布有很大差异。除了油松林外，小龙门林区其它生境中的密度均高于梨园岭退耕区。其中，小龙门林区的落叶松

林和阔叶混交林内密度较高，梨园岭退耕区的荆条灌丛内密度较低，两年间虽然存在差异，但各样地间甲虫密度总体变化趋势是一致的（图4）。

2.3.2 主要优势类群的季节性变化 从图5可以看出，步甲和隐翅虫数量变化与甲虫总数变化趋势最接近，活动高峰出现在7月份；在辽东栎萌生丛（L3）、油松林（X1）、落叶松林（X3）、阔叶混交林（X4）和辽东栎林（X5）内数量丰富，变化趋势明显；在核桃楸林（X2）内数量虽然也较多，但季节变化不明显；在梨园岭的两个灌丛（L1，L2）生境类型中数量较少，季节变化明显偏离其他生境内整体变化趋势。

拟步甲活动高峰在6月份，在荆条（L1）和山杏（L2）灌丛、辽东栎萌生丛、油松林、核桃楸林内数量较多，季节变化明显；在其他生境内极少分布。叩甲个体数量的季节变化与拟步甲较相似，只是在落叶松林内分布较多，但在油松林内分布较少。

叶甲、象甲和金龟在各生境内缺乏较一致的季节变化趋势。叶甲在荆条和山杏灌丛内数量变化均匀，在油松林、核桃楸林、落叶松林及阔叶混交林内数量高峰出现在4月或5月份；在辽东栎林和辽东栎萌生丛内数量高峰分别集中在6月和8月份。象甲主要分布在辽东栎林、落叶松林、油松林、辽东栎萌生丛和荆条灌丛内，其中在辽东栎林、辽东栎萌生丛和落叶松林内的数量高峰出现在6月和7

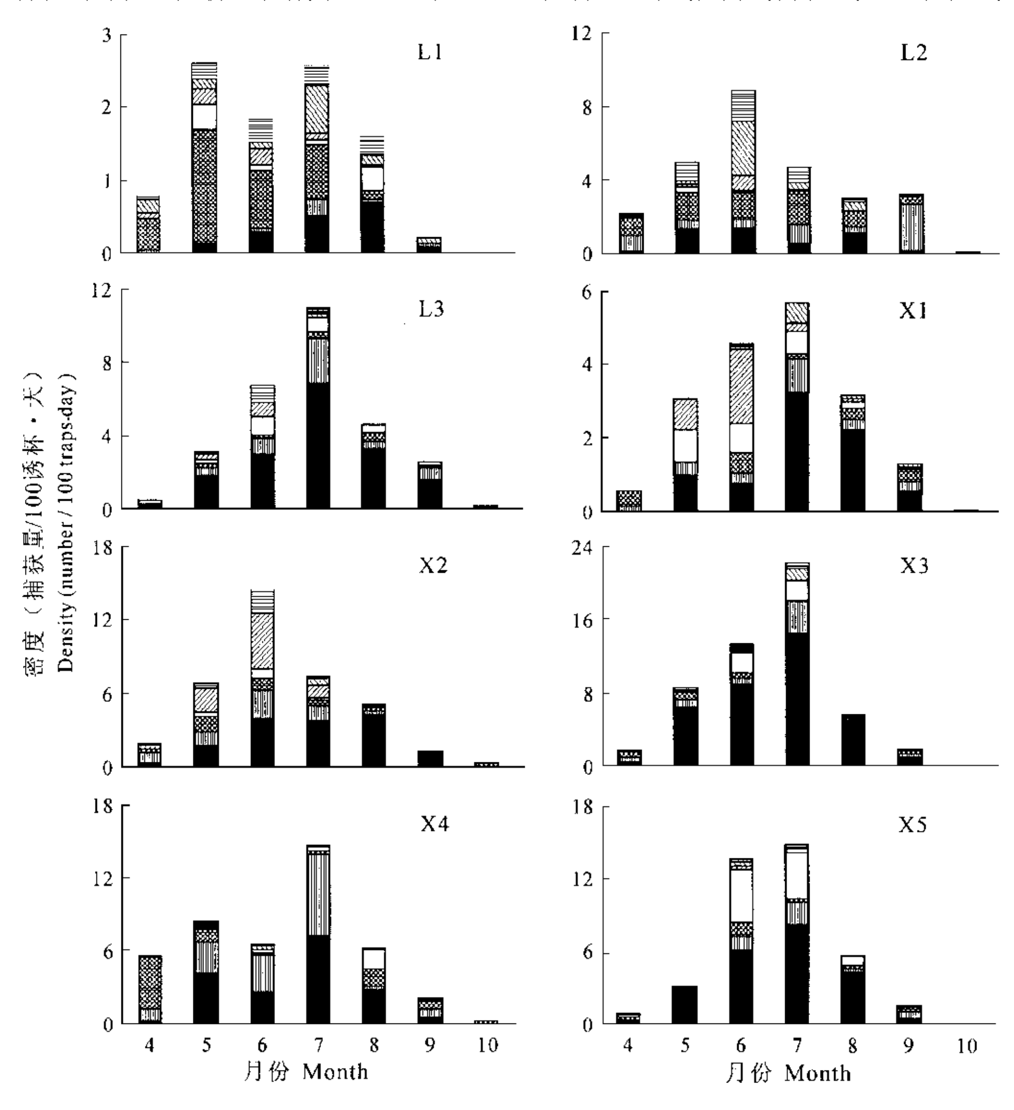


图5 主要地表甲虫类群在小龙门林区和梨园岭退耕区生境内的季节性分布

Fig. 5 Seasonal change of dominant beetles in habitats in Xiaolongmen and Liyuanling areas

月份；在油松林内出现在 5～7 月份；在荆条灌丛内出现在 5 月和 8 月份。金龟主要分布在荆条和山杏灌丛、油松林和落叶松林内，除了山杏灌丛内的数量高峰在 6 月份外，其他生境中数量高峰均出现在 7 月份。

2.3.3 功能群的季节变化 从图 6 可以看出，捕食性类群比率最大，其次为植食性类群，腐食性类群最少；捕食性类群的峰值比植食性类群滞后 1 个月。捕食性类群的数量自 4 月份后一直升高，在 7 月份达到高峰，然后急剧下降，10 月份为最低值；植食性类群的数量自 4 月份后升高，但高峰出现在 6 月份，然后同样下降，10 月份为最低值；腐食性类群的数量较少，高峰出现在 6 月和 7 月。

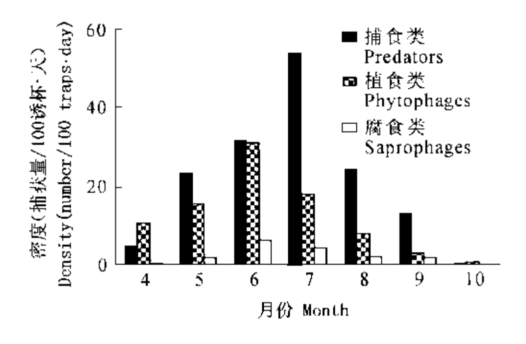


图 6 1999 年不同功能群在小龙门林区和梨园岭退耕区生境内个体数量的季节性变化

Fig. 6 Seasonal changes of litter-layer beetles of different guilds in Xiaolongmen and Liyuanling areas in 1999

3 讨论

3.1 物种组成和特点

与我们在亚热带和热带森林及沙漠地区进行的昆虫多样性调查结果（周红章等，2000b；于晓东等，2001a，2001b）相比，东灵山地区地表甲虫的物种组成和数量分布显示较大差异。东灵山地区地表甲虫中占优势数量的科依次为步甲和隐翅虫，占总数的 56%；处于亚热带地区的湖北神农架自然保护区地表甲虫中，优势类群与东灵山地区相同，占 71%，但隐翅虫数量更多（周红章等，2000b）；位于亚热带和热带交汇地带的云南西北部地区与神农架保护区的优势类群相似，隐翅虫和步甲数量最多，占 67%（于晓东等，2001a）；处于内蒙古鄂尔多斯高原地区地表甲虫的物种组成更多地反映了沙漠区系的特点，拟步甲和步甲数量占 93%，占绝对优势，隐翅虫数量极少（于晓东等，2001b）。可见，东灵山地区地表甲虫虽然在类群上与其他地区有相似性，但在数量分布上反映了该地区特有的分布规律；而且如果比较地区间具体的物种组成，如已经研究过的大步甲属（于晓东等，2001c，2002），区系间物种组成的差异更为明显，东灵山地区更多反映了暖温带地区昆虫区系特点。

3.2 生境相似性分析

从排序图看，在第一排序轴左侧主要分布灌丛类型，右侧主要分布萌生丛和森林类型，从梨园岭退耕区→东灵山主峰区→小龙门林区反映了由灌丛→亚高山植被→森林植被的过渡，说明第一排序轴很大程度上是由植被类型决定的。在第二排序轴下方为海拔较低、受干扰较强的梨园岭退耕区，上方依次为海拔较高、干扰程度较弱的小龙门林区和东灵山主峰区，体现了地区间海拔逐渐升高、干扰程度逐渐减弱的趋势，说明第二排序轴很大程度上是由海拔梯度和受干扰程度决定的。而且，辽东栎萌生丛属于退耕还林、初步恢复类型，有别于灌丛类型，更接近于森林类型，说明萌生丛是退耕区生态恢复的良好方向。此外，阔叶混交林位于小龙门森林类型和亚高山植被类型之间，这可能是因为混交林内林分较小龙门其它林型复杂，抗干扰能力更强些，所以更接近稳定性高的亚高山植被类型。系统聚类分析和主成分分析排序的结果相似，这与我们以前对大步甲属的研究结果（于晓东等，2002）相似。

以上生境类型排序和聚类的结果与东灵山地区不同海拔地点植被类型的小环境特点密切相关。小龙门林区生境是典型的森林类型，林木高大，地表覆盖层厚，湿度大，环境调节能力强。梨园岭处在退耕区，植被处在恢复阶段，大多是低矮灌丛和萌生丛，环境变异大，大多为森林被砍伐后形成的植被类型；灌丛的树冠层稀疏，环境干燥，地表覆盖层薄；萌生丛以辽东栎为主，是成林被砍伐后萌生恢复形成的，已经接近成林的小环境，地表覆盖层厚，树冠层紧密，林内的湿度大，与森林环境有很大的相似性。东灵山主峰地区为亚高山植被类型，稳定性较高，但与前两个地点相比，海拔高，终年低温，限制了甲虫的季节活动。因此，与这些环境特点相适应，森林类型为一类，灌丛类型为一类，亚高山植被类型为一类，基本体现了小地区的环境特点，只是辽东栎萌生丛生境因为其植被类型更接近森林类型而远离了同一地区的灌丛类型。

此外，干扰程度从另一侧面反映了各小地区的特点，梨园岭退耕区人为活动频繁，干扰最强；小

龙门林区时有林业管理活动及村民偶尔的采菌或放牧活动，干扰较弱；东灵山主峰原来由于偏僻和高海拔，处于隔绝状态，干扰最弱，但近年来由于旅游开发活动，对主峰的生境破坏很大，干扰已经很严重，由于干扰对物种种类和数量的影响具有时滞性，目前它所带来的影响尚未完全表现出来，预计将来的调查会发现并证实这一点。

3.3 季节性变化

地表甲虫种类和数量季节变化反映暖温带地区昆虫的特点，因为暖温带地区有明显的季节变化，温差和降水差异较大，夏季雨水最多，温度较高，植被最茂盛，对于昆虫来说，食物最丰富，通常此时昆虫物种的种类和数目最多。东灵山地区属典型的暖温带区系，是华北地区山地的代表，夏季出现在 6 ~ 8 月，所以地表甲虫的活动高峰集中在这一时期。

对不同功能群的季节性分析发现，捕食性类群的数量变化滞后于植食性类群，说明群落次级消费者的组成和数量依赖于初级消费者的数量，因此在时间上表现为滞后效应；但捕食性类群的数量高于植食性类群，似乎有悖于基本的生态学理论（孙儒泳，2001），这与树冠类群的研究也不一致（Erwin，1982；Kato *et al*.，1995）。这可能与我们的研究范围有关。本研究仅进行了甲虫类群的研究，并没有包括所有昆虫类群；而且在甲虫类群的研究中，研究范围仅限于地表，对于其他层次则没有涉及，而在树冠研究中已经发现，植食性类群远大于捕食性类群（Kato *et al*.，1995），所以本研究结果并没有违背一般的生态学规律。

综上所述，东灵山地区地表甲虫的物种组成和数量变化反映了我国暖温带地区昆虫区系组成和季节性变化的特点；植被类型和干扰程度是决定该地区物种分布和数量组成的关键因素。因此，合理进行生态恢复，增加森林植被覆盖率，尽量减少人为干扰是提高该地区地表甲虫物种多样性的重要手段。

致谢 中国科学院北京森林生态系统定位站和动物研究所梨园岭工作站有关人员，植物研究所的高贤明、王巍、李庆康博士，动物研究所的梁淑君女士，北京师范大学生物系的张正旺教授、闫文杰和毕中霖同学等，在野外采集和标本制作中给予了大量帮助；动物研究所的章有为、马文珍、李鸿兴和梁红斌等先生，日本专家 Yuki Imura，波兰专家 S. Mazur，分别帮助鉴定了部分甲虫标本，特此表示感谢。

参 考 文 献 （References）

Baars M A，1979. Catches in pitfall traps in relation to mean densities of carabid beetles. *Oecologia*，41：25 – 46.

Bruce C T，Melander A L，Carpenter F M，1954. Translated by Xiao C Y，Cheng Z H，Shang Y Z *et al*，1959. Classification of insects. Beijing: Science Press. 1 – 1008.［Bruce C T，Melander A L，Carpenter F M，1954 著. 肖采瑜，程振衡，尚雅珍，郑乐怡译，1959. 昆虫的分类. 北京：科学出版社. 1 – 1 008］

Erwin T L，1982. Tropical forests：their richness in Coleoptera and Arthropod species. *Coleopt*. *Bull*.，36：74 – 75.

Erwin T L，1991. How many species are there? Revisited. *Conserv*. *Biol*.，5（3）：330 – 333.

Freude H，Harde K W，Lohse G，1964. Die Kaefer Mitteleuropas（Bd. 2 – 12）. Krefeld：Goecke & Evers.

Imura Y，Zhou H Z，1998. A new *Titanocarabus*（Coleotera，Carabidae）discovered from Beijing，China. *Elytra*，26（1）：113 – 114.

Kato M，Inoue T，Hamid A A，Nagamitsu T，Ben Merdek M，Nona A R，Itino T，Yamane S，Yumoto T，1995. Seasonality and vertical structure of light-attracted insect communities in a dipterocarp forest in Sarawak. *Res*. *Popul*. *Ecol*.，37（1）：59 – 79.

Luo T H，Yu X D，Zhou H Z，2002. Studies on species diversity of histerid beetles（Coleoptera：Histeridae）in Dongling Mountain. *Biodivers*. *Sci*.，10（2）：143 – 148.［罗天宏，于晓东，周红章，2002. 东灵山地区阎甲物种多样性研究. 生物多样性，10（2）：143 – 148］

Martin J E H，1978. The Insects and Arachnids of Canada（Part 1：Collecting，preparing and preserving insects，mites，and spiders）. Hull：Supply and Services Canada. 1 – 182.

May R M，1986. How many species are there? *Nature*，324：514 – 515.

May R M，1988. How many species are there on earth? *Science*，241：1 441 – 1 449.

Pielou E C，1984. The Interpretation of Ecological Data. New York：Wiley.

Ponder W F，1992. Bias and biodiversity. *Austral*. *Zool*.，28：47 – 51.

Samways M J，1993. Insects in biodiversity conservation：some perspectives and directives. *Biodivers*. *Conserv*.，2：258 – 282.

SPSS Inc，1997. SPSS Base 7. 5 for Windows user ' s guide. Chicago：SPSS Inc.

Sun R Y，2001. Principles of Animal Ecology（3rd edition）. Beijing：Beijing Normal University Press. 1 – 635.［孙儒泳，2001. 动物生态学原理（第三版）. 北京：北京师范大学出版社. 1 – 635］

Wu Y R，1993. China's insect diversity and recommendations of conservation. *Chin*. *Biodivers*.，1（1）：41 – 45.

Yin W Y，1992. Subtropical Soil Animals of China. Beijing：Science Press.［尹文英，1992. 中国亚热带土壤动物. 北京：科学出版社. 1 – 618］

Yin W Y，1998. Pictorical Keys to Soil Animals of China. Beijing：Science Press. 1 – 756.［尹文英，1998. 中国土壤动物检索图鉴. 北京：科学出版社. 1 – 756］

Yu X D，Zhou H Z，Luo T H，2001a. Species diversity of litter-layer beetles in Northwest Yunnan Province，Southwest China. *Zool*. *Res*.，22

（6）：454－460.［于晓东，周红章，罗天宏．2001a．云南西北部地区地表甲虫物种多样性研究．动物学研究，22（6）：454－460］

Yu X D，Zhou H Z，Luo T H，2001b．Species diversity of insects on the Ordos Plateau，Northwest China．*Biodivers．Sci*．，9（4）：329－335．［于晓东，周红章，罗天宏，2001b．鄂尔多斯高原地区昆虫物种多样性研究．生物多样性，9（4）：329－335］

Yu X D，Zhou H Z，Luo T H，2001c．Habitat distribution and species diversity of *Carabus* and *Cychrus* in Shennongjia Nature Reserve，Hubei Province．*Biodivers．Sci*．，9（3）：214－221．［于晓东，周红章，罗天宏．2001c．神农架保护区大步甲和蜗步甲属生境选择和物种多样性研究．生物多样性，9（3）：214－221］

Yu X D，Zhou H Z，Luo T H，2002．Distribution patterns and their seasonal changes of *Carabus* beetles in Dongling Mountain Region near Beijing．*Acta Ecol．Sin*．，22（10）：1 724－1 733．［于晓东，周红章，罗天宏，2002．东灵山地区大步甲属物种分布和季节变化的多样性格局．生态学报，22（10）：1 724－1 733］

Zhou H Z，2000．Species and species diversity．*Chin．Biodivers*．，8（2）：215－226．［周红章，2000．物种与物种多样性．生物多样性，8（2）：215－226］

Zhou H Z，Luo T H，2001．On the genus *Onthophilus* Leach（Coleoptera：Histeridae）from China．*Coleopt．Bull*．，55（4）：507－514．

Zhou H Z，Yu X D，Luo T H，He J J，2000a．How does species diversity change? Spatio-temporal patterns and scales．*Chin．Biodivers*．，8（3）：325－326．［周红章，于晓东，罗天宏，何君舰，2000a．物种多样性的变化格局与时空尺度．生物多样性，8（3）：325－336］

Zhou H Z，Yu X D，Luo T H，He J J，Zhou H S，Ye C J，2000b．Insect abundance and environmental effects in Shennongjia Natural Reserve，Hubei Province．*Chin．Biodivers*．，8（3）：262－270．［周红章，于晓东，罗天宏，何君舰，周海生，叶婵娟，2000b．湖北神农架自然保护区昆虫的数量变化与环境关系的初步研究．生物多样性，8（3）：262－270］